

DIALOG(R)File 352:Derwent WPI
(c) 2001 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.
012994495 **Image available**

WPI Acc No: 2000-166347/200015

XRAM Acc No: C00-052018

XRPX Acc No: N00-124842

**Crystalline silicon thin film forming method for thin film transistor in
drive circuit of liquid crystal display device, sensor - involves
subjecting silicon film to photoirradiation and solidifying it by
maintaining at predetermined cooling rate**

Patent Assignee: NEC CORP (NIDE)

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 2000021776	A	20000121	JP 98199482	A	1998070	200015 B

Priority Applications (No Type Date): JP 98199482 A 19980701

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 2000021776	A		14 H01L-021/20	

Abstract (Basic): JP 2000021776 A

NOVELTY - The silicon film is subjected to photoirradiation due to which the film is melted. Then, the film is solidified by maintaining maximum cooling rate below 1.6 multiply 10¹⁰ deg. C.

DETAILED DESCRIPTION - INDEPENDENT CLAIMS are also included for the following: pulse laser irradiation apparatus; semiconductor device

USE - For thin film transistor (TFT) in drive circuit of liquid crystal display (LCD) device, sensor.

ADVANTAGE - The crystallization in a laser recrystallization process is prevented. The silicon film can be formed through a recrystallization process by the thermal equilibrium concentration of point defects process on a low glass substrate. The silicon thin film in TFT can prevent reduction of ON state current or increase of OFF leak current, thus stable operation is obtained.

Dwg.1/17

Title Terms: CRYSTAL; SILICON; THIN; FILM; FORMING; METHOD; THIN; FILM;
TRANSISTOR; DRIVE; CIRCUIT; LIQUID; CRYSTAL; DISPLAY; DEVICE; SENSE;
SUBJECT; SILICON; FILM; SOLIDIFICATION; MAINTAIN; PREDETERMINED;
COOLING; RATE

Derwent Class: L03; U11; U12; U14

International Patent Class (Main): H01L-021/20

International Patent Class (Additional): H01L-021/268; H01L-021/336;
H01L-029/786

File Segment: CPI; EPI

DIALOG(R)File 347:JAPIO

(c) 2001 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

06436209 **Image available**

METHOD OF FORMING SEMICONDUCTOR THIN FILM, PULSE LASER
IRRADIATOR AND
SEMICONDUCTOR DEVICE

PUB. NO.: **2000-021776** [JP 2000021776 A]

PUBLISHED: January 21, 2000 (20000121)

INVENTOR(s): TANABE HIROSHI

APPLICANT(s): NEC CORP

APPL. NO.: 10-199482 [JP 98199482]

FILED: July 01, 1998 (19980701)

INTL CLASS: H01L-021/20; H01L-021/268; H01L-029/786; H01L-021/336

ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a melting and re-crystallizing process nearer to an ideal thermal equilibrium process, without making an amorphous or fine crystalline structure, by comprising at least one cycle of melt solidifying process with a light irradiation energy and setting the max. cooling rate to specified value or less in its final solidifying process.

SOLUTION: In a final solidifying process with a light irradiation energy, the max. cooling data obtd. from a temp. change curve of an Si thin film after the end of the irradiation increases with the increase of the irradiation intensity. If the cooling temp. causing the fine crystallization in the condition of about 500 mJ/cm² is estimated by applying to the relation between the max. cooling rate and irradiation intensity, the fine crystallization occurs at a cooling rate of about 1.6×10¹⁰°C/sec or more and hence the cooling rate is controlled to be about 1.6×10¹⁰°C/sec or less. Thus it is possible to avoid the fine crystallization or forming an amorphous structure and hence obtain a good crystal growth process.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-21776

(P2000-21776A)

(43) 公開日 平成12年1月21日 (2000.1.21)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマート (参考)
H 0 1 L 21/20		H 0 1 L 21/20	5 F 0 5 2
21/268		21/268	F
29/786		29/78	6 2 7 G
21/336			

審査請求 有 請求項の数12 F D (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平10-199482

(22) 出願日 平成10年7月1日 (1998.7.1)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 田邊 浩

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100070219

弁理士 若林 忠 (外4名)

Fターム (参考) 5F052 AA02 BA01 BA18 CA04 CA07

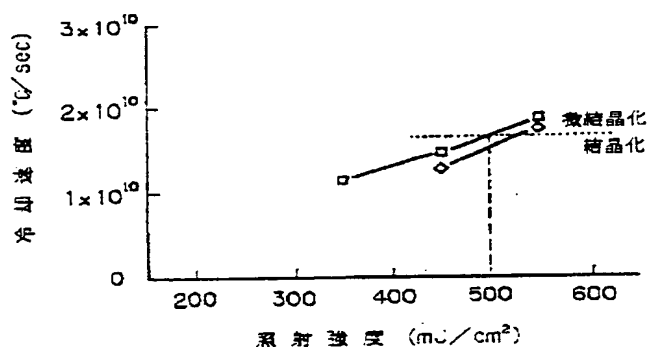
DA02 EA16 JA01

(54) 【発明の名称】 半導体薄膜の形成方法、パルスレーザー照射装置、および半導体装置

(57) 【要約】

【課題】 アモルファス化あるいは微結晶化が生じることがなく、理想的な熱平衡過程により近い熔融再結晶化過程を経て結晶質シリコン薄膜を形成することのできる半導体薄膜の形成方法を提供することにある。

【解決手段】 シリコンを主成分とする半導体薄膜の形成方法であって、光照射エネルギーによる少なくとも一回の熔融固化過程を有し、その最終固化過程における最大冷却速度を $1.6 \times 10^{10} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{sec}$ 以下にする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 シリコンを主成分とする半導体薄膜の形成方法であって、
光照射エネルギーによる少なくとも一回の熔融固化過程を有し、その最終固化過程における最大冷却速度を $1.6 \times 10^{-10} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{s}$ 以下にすることを特徴とする半導体薄膜の形成方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の半導体薄膜の形成方法において、
前記熔融固化過程は、
第 1 のパルス光の照射による第 1 の熔融固化過程と、
光強度が前記第 1 のパルス光よりも小さな第 2 のパルス光の照射による第 2 の熔融固化過程とを含み、
前記第 2 のパルス光の照射を、前記第 1 の熔融固化過程において半導体薄膜の温度が最高温度に到達した後、その固化が終了するまでの間に行うことを特徴とする半導体薄膜の形成方法。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の半導体薄膜の形成方法において、
前記第 1 および第 2 のパルス光は、発光開始から 50 ns 以内に最大発光強度に達し、かつ、発光時間が 100 ns 以上であることを特徴とする半導体薄膜の形成方法。

【請求項 4】 請求項 2 に記載の半導体薄膜の形成方法において、
前記第 1 および第 2 のパルス光は、パルス波形に複数のピークを有することを特徴とする半導体薄膜の形成方法。

【請求項 5】 絶縁性基板または絶縁性薄膜上に形成された、シリコンを主成分とする半導体薄膜を照射する半導体パルスレーザ光源と、
前記パルスレーザ光源から射出されたパルス光を第 1 および第 2 のパルス光に分割する分割手段とを有し、
前記第 2 のパルス光が、前記第 1 のパルス光の照射による熔融固化過程において前記半導体薄膜の温度が最高温度に到達した後、その固化が終了するまでの間に照射されるように構成されていることを特徴とするパルスレーザ照射装置。

【請求項 6】 請求項 5 に記載のパルスレーザ照射装置において、
前記第 2 のパルス光の光路中に、光強度が前記第 1 のパルス光よりも小さくなるようにフィルタ手段が設けられたことを特徴とするパルスレーザ照射装置。

【請求項 7】 請求項 5 に記載のパルスレーザ照射装置において、
前記パルスレーザ光源から供給されるパルス光は、発光開始から 50 ns 以内に最大発光強度に達し、かつ、発光時間が 100 ns 以上であることを特徴とするパルスレーザ照射装置。

【請求項 8】 絶縁性基板または絶縁性薄膜上に形成さ

れた、シリコンを主成分とする半導体薄膜を照射する第 1 および第 2 のパルスレーザ光源を有し、

前記第 1 のパルスレーザ光源から射出されたパルス光の照射による熔融固化過程において前記半導体薄膜の温度が最高温度に到達した後、その固化が終了するまでの間に、前記第 2 のパルスレーザ光源から射出されたパルス光が照射されるように構成されたことを特徴とするパルスレーザ照射装置。

【請求項 9】 請求項 8 に記載のパルスレーザ照射装置において、
前記第 1 のパルスレーザ光源から射出されたパルス光を検知する検知手段と、
前記検知手段の検知タイミングに基づいて、前記第 1 および第 2 のパルスレーザ光源の発光を制御する発光制御手段とをさらに有し、
前記発光制御手段が、前記第 1 のパルスレーザ光源から射出されたパルス光の照射による熔融固化過程において前記半導体薄膜の温度が最高温度に到達した後、その固化が終了するまでの間に、前記第 2 のパルスレーザ光源から射出されたパルス光が照射されるように制御することを特徴とするパルスレーザ照射装置。

【請求項 10】 請求項 9 に記載のパルスレーザ照射装置において、
前記第 2 のパルスレーザ光源から供給されるパルス光は、その光強度が前記第 1 のパルスレーザ光源から供給されるパルス光よりも小さいことを特徴とするパルスレーザ照射装置。

【請求項 11】 請求項 9 に記載のパルスレーザ照射装置において、
前記第 1 および第 2 のパルスレーザ光源から供給されるパルス光は、発光開始から 50 ns 以内に最大発光強度に達し、かつ、発光時間が 100 ns 以上であることを特徴とするパルスレーザ照射装置。

【請求項 12】 絶縁性基板上または絶縁性薄膜上に、前記請求項 1 乃至請求項 4 のいずれかに記載の半導体薄膜の形成方法により形成された半導体薄膜を備えることを特徴とする半導体装置。

【発明の詳細な説明】
【0001】
【発明の属する技術分野】本発明は、ディスプレイ、センサー等の駆動素子または駆動回路に用いられている、例えば結晶性シリコン薄膜トランジスタのシリコン薄膜を形成する方法およびパルスレーザ照射装置に関する。さらには、そのような半導体薄膜を備える半導体装置に関する。

【0002】
【従来の技術】ガラス基板上に薄膜トランジスタ (TFT) を形成する代表的な技術として、水素化アモルファス半導体 TFT 技術及び多結晶シリコン TFT 技術が知られている。水素化アモルファス半導体 TFT 技術にお

いては、作製プロセス中の最高温度が300℃程度であり、 $1\text{ cm}^2/\text{Vsec}$ 程度のキャリア移動度が実現されている。多結晶シリコンTFT技術においては、例えば石英基板を用い、1000℃程度のLSIと類似した高温プロセスを用いることで、キャリア移動度30～100 cm^2/Vsec の性能が得られている。これら高いキャリア移動度を実現できるTFT技術においては、例えば液晶ディスプレイに応用した場合に、各画素を駆動する画素TFTとともに、周辺駆動回路部までもが同一ガラス基板上に同時に形成することができるため、形成プロセスコストの低減、小型化を図ることができるという利点がある。

【0003】ところで、水素化アモルファス半導体TFT技術の場合は、作製プロセス最高温度が300℃程度と低いため、安価な低軟化点ガラスを用いることができるが、多結晶シリコンTFT技術の場合には、1000℃の高温プロセスを伴うため、そのような安価な低軟化点ガラスを用いることができない。そこで、プロセスの低温化を目的に、レーザ結晶化技術を応用した多結晶シリコン膜の低温形成技術の研究・開発が行われている。

【0004】図17に、レーザ結晶化技術を応用した多結晶シリコン膜の低温形成を実現する、従来のパルスレーザ照射装置の概略構成を示す。このパルスレーザ照射装置では、パルスレーザ光源11から供給されるレーザ光は、3つのミラー12及び空間的な強度の均一化を行うべく設置されるビームホモジナイザ14等の光学素子群によって規定される光路17を通過して、被照射体であるガラス基板15上のシリコン薄膜16に到達する。

【0005】このパルスレーザ照射装置の場合、1照射範囲が小さいため、xyステージ17上のガラス基板を移動させることにより基板上的の任意の位置にレーザ光を照射することができる。また、カセット内に収納されているシリコン薄膜付きガラス基板のxyステージ17上への搬送、およびxyステージ17上のガラス基板15のカセット内への収納は、基板搬送機構によって機械的に行われる。

【0006】なお、上記のパルスレーザ照射装置において、xyステージ17の代わりに照射系の一部の光学素子群または系全体を移動させるようにしてもよい。また、移動可能に構成された光学素子群とステージとを組み合わせることも可能である。さらに、レーザ照射については、真空チャンバー内で真空中あるいは高純度ガス雰囲気下で行うようにしてもよい。

【0007】レーザ結晶化技術としては、複数のパルスをおよそ一定時間をもたせて照射する方法が、Ryoichi Ishihara et al. "Effects of light pulse duration on excimer laser crystallization characteristics of silicon thin films" Japanese journal of applied physics, vol. 34, No. 4A (1995) pp1759」に開示さ

れている。この公知文献によれば、レーザ再結晶化プロセスにおける熔融シリコンの結晶化固化速度は $1\text{ m}/\text{sec}$ 以上であり、良好な結晶成長を得るためには、固化速度の低減が必要であることが述べられている。具体的には、第1のレーザパルスの照射過程における熔融シリコンの固化が完了した直後に、第2のレーザパルスを照射するようにし、この第2の照射によって、より固化速度の小さな再結晶化過程を得ることが開示されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、良好な結晶成長を得るためには固化速度の低減が必要であり、そのために従来は、第2のレーザパルスの照射によって固化速度の小さな再結晶化過程を得るといった方法が取られている。しかしながら、この従来の方法は、熔融・再結晶化過程における過度の過冷却を考慮していないため、以下のような問題がある。

【0009】出発材料をa-Siとする場合の、レーザ再結晶化プロセスにおける熔融シリコンの結晶化固化の温度変化（時間履歴曲線）を図8に示す。この図8に示す温度変化を参照すると、レーザエネルギーの照射とともにシリコンの温度が上昇し、a-Siの融点aを経た後さらに温度が上昇する。そして、レーザ照射によるエネルギーの供給が温度上昇に必要な値を下回ると、冷却が始まる。この冷却過程では、結晶Siの凝固点bにおいて、凝固時間tを経て固化が終了し、その後は雰囲気温度まで冷却される。この場合における固化速度の平均値は、以下のような式で表される。

【0010】

固化速度の平均値＝シリコンの膜厚／凝固時間

上記式から、シリコンの膜厚が一定であれば、固化速度を小さくするためには凝固時間の長時間化が有効であることが分かる。よって、熱平衡学的に理想的な状態を維持したプロセスであれば、レーザ照射エネルギーを大きくすることで凝固時間の拡大が可能である。

【0011】しかしながら、前述の公知文献においても指摘されているとおり、照射エネルギーの増大は膜の非晶質化、微結晶化を引き起こす。現実的な熔融・再結晶化過程においては、図8に示すような理想的な温度変化を示さず、加熱時には温度の過上昇過程、冷却時には過冷却過程を経て安定状態に到達する。特に、冷却時の冷却速度が大きく、過度の過冷却を経る場合には、凝固点近傍での結晶化が生ずることなく、冷却固化によりアモルファス（非晶質）固体が形成されてしまう。また、薄膜形成においては、前述の公知文献中でも述べられているとおり、条件によってはアモルファスではなく、微結晶体が形成されることもある。この微結晶体は、多結晶薄膜あるいは単結晶薄膜に比べその粒径が小さいために、粒界ポテンシャルの大きな結晶粒界が多数存在し、例えば薄膜トランジスタへの応用ではオン電流の低下、あるいはオフリーク電流の増大を招くことになる。

【0012】本発明の目的は、上記のようなアモルファス化あるいは微結晶化が生じることがなく、理想的な熱平衡過程により近い熔融再結晶化過程を経て結晶質シリコン薄膜を形成することのできる半導体薄膜の形成方法およびパルスレーザ照射装置を提供することにある。

【0013】本発明のさらなる目的は、その半導体薄膜の形成方法により形成された半導体薄膜を備える半導体装置を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体薄膜の形成方法は、シリコンを主成分とする半導体薄膜の形成方法であって、光照射エネルギーによる少なくとも一回の熔融固化過程を有し、その最終固化過程における最大冷却速度を $1.6 \times 10^{10} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{sec}$ 以下にすることを特徴とする。

【0015】上記の場合、前記熔融固化過程は、第1のパルス光の照射による第1の熔融固化過程と、光強度が前記第1のパルス光よりも小さな第2のパルス光の照射による第2の熔融固化過程とを含み、前記第2のパルス光の照射を、前記第1の熔融固化過程において半導体薄膜の温度が最高温度に到達した後、その固化が終了するまでの間に行うようにしてもよい。

【0016】また、上記の場合、前記第1および第2のパルス光は、発光開始から 50 nsec 以内に最大発光強度に達し、かつ、発光時間が 100 nsec 以上であることとしてもよい。

【0017】また、前記第1および第2のパルス光は、パルス波形に複数のピークを有するようにしてもよい。

【0018】本発明の第1のパルスレーザ照射装置は、絶縁性基板または絶縁性薄膜上に形成された、シリコンを主成分とする半導体薄膜を照射する半導体パルスレーザ光源と、前記パルスレーザ光源から射出されたパルス光を第1および第2のパルス光に分割する分割手段とを有し、前記第2のパルス光が、前記第1のパルス光の照射による熔融固化過程において前記半導体薄膜の温度が最高温度に到達した後、その固化が終了するまでの間に照射されるように構成されていることを特徴とする。

【0019】上記の場合、前記第2のパルス光の光路中に、光強度が前記第1のパルス光よりも小さくなるようにフィルタ手段が設けられてもよい。

【0020】また、前記パルスレーザ光源から供給されるパルス光は、発光開始から 50 nsec 以内に最大発光強度に達し、かつ、発光時間が 100 nsec 以上であることが望ましい。

【0021】また本発明の第2のパルスレーザ照射装置は、絶縁性基板または絶縁性薄膜上に形成された、シリコンを主成分とする半導体薄膜を照射する第1および第2のパルスレーザ光源を有し、前記第1のパルスレーザ光源から射出されたパルス光の照射による熔融固化過程において前記半導体薄膜の温度が最高温度に到達した

後、その固化が終了するまでの間に、前記第2のパルスレーザ光源から射出されたパルス光が照射されるように構成されていることを特徴とする。

【0022】上記の場合、前記第1のパルスレーザ光源から射出されたパルス光の検知する検知手段と、前記検知手段の検知タイミングに基づいて、前記第1および第2のパルスレーザ光源の発光を制御する発光制御手段とをさらに有し、前記発光制御手段が、前記第1のパルスレーザ光源から射出されたパルス光の照射による熔融固化過程において前記半導体薄膜の温度が最高温度に到達した後、その固化が終了するまでの間に、前記第2のパルスレーザ光源から射出されたパルス光が照射されるように制御するようにしてもよい。

【0023】また、上記の場合、前記第2のパルスレーザ光源から供給されるパルス光は、その光強度が前記第1のパルスレーザ光源から供給されるパルス光よりも小さくすることが望ましい。さらに、前記第1および第2のパルスレーザ光源から供給されるパルス光は、発光開始から 50 nsec 以内に最大発光強度に達し、かつ、発光時間が 100 nsec 以上であることが望ましい。

【0024】本発明の半導体装置は、絶縁性基板上または絶縁性薄膜上に、上述したいずれかの半導体薄膜の形成方法により形成された半導体薄膜を備えることを特徴とする。

（作用）図16に示すように、付加的なエネルギーを投入することによって再度固化過程が繰り返され、それ以前の固化過程における急冷による非晶質化、微結晶化が一旦初期化される。この再度の固化過程は、前に投入されたエネルギーが保存されている（この保存はナノ秒オーダーと短時間のため、基板への熱伝導、雰囲気への放射の影響が少ない。）ために生じると考えられる。また、図16から分かるように、この付加的なエネルギー投入による固化過程における冷却速度は、それ以前の固化過程における冷却速度よりも小さくなる。よって、この再度投入されたエネルギーによる二次加熱終了後の冷却速度に着目することで、良好な結晶成長を期待できる。

【0025】上記のように、最終的に投入されたエネルギーによりそれ以前の冷却過程が初期化されることから、最終固化過程における冷却速度が結晶化を支配することになる。そして、詳しくは後述の実施形態にて説明するが、その最終固化過程における最大冷却速度が $1.6 \times 10^{10} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{sec}$ 以下であれば、良好な結晶化が得られることが実験的に見出されている。本発明では、最終固化過程における最大冷却速度がその $1.6 \times 10^{10} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{sec}$ 以下に制御されるので、アモルファス化あるいは微結晶化が生じることはない。

【0026】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

【0027】＜第1の実施形態＞図2に、本形態で用いるパルスレーザ光の発光パルス波形を示す。この発光パルス波形は3つの主ピークを有し、その発光時間は約120nsecに及ぶ。この発光パルス波形は、前述の公知文献に記載のレーザの発光パルス（パルス幅が21.4nsecの矩形パルス）と比べて5倍以上の発光時間を有するため、単一パルス照射であっても前述の公知文献中で述べられているような固化速度の低減が可能である。

【0028】基板表面に膜厚75nmのシリコン膜が形成されたSiO₂基板上に、上記の図2に示したような発光パルス波形のXeClレーザ（波長308nm）を照射強度450mJ/cm²で照射した場合の、レーザ再結晶化時の数値計算から求まるシリコンの温度-時間曲線を図3に示す。同図3中、実線がシリコン薄膜の温度、破線がシリコン/基板界面から約100nm下部の基板温度、一点鎖線がシリコン/基板界面から約1μm下部の基板温度をそれぞれ示す。

【0029】図3を参照すると、シリコン薄膜の温度は、第2の発光ピークがほぼ終了する約60nsec後に最高温度に達し、冷却過程へと転じる。ただし、本数値計算では溶融・凝固点として非晶質シリコンの値を用いており、凝固点付近における振る舞いは現実のものとは異なる。特に、結晶化膜が得られる場合は、結晶シリコンの凝固点で結晶化が完了する。

【0030】最高温度に達して冷却過程に転じると、温度-時間曲線は一旦大きな傾きを持って冷却が開始されるが、第3のピークが存在する100nsec付近では、温度-時間曲線の傾きは非常に小さくなる。そして、完全に発光が終了する120nsec以降では、再び急速な冷却過程を経て凝固する。

【0031】一般に、熱平衡過程を大きくはずれるような“急冷”を経た液体からの固化過程の場合、結晶構造の形成に必要な十分な凝固時間を得ることができないため、非晶質化が生じたり、場合によっては微結晶化が生じる。以下、この非晶質化、微結晶化と照射エネルギーとの関係について説明する。

【0032】上述の図3に示したシリコン薄膜の温度変化の曲線から求まる発光終了後の最大冷却速度と、XeClレーザの照射強度との関係を図1に示す。この図1から、発光終了後の最大冷却速度は照射強度の増大とともに増加することが分かる。図4はXeClレーザの照射強度を339mJ/cm²、424mJ/cm²、470mJ/cm²と変えた場合のレーザ照射後のシリコン薄膜の構造を走査型電子顕微鏡を用いて観察した写真で、(a)～(c)は1ショット（照射パルス数が1パルス）の場合、(d)～(f)は3ショット（照射パルス数が3パルス）の場合を示す。

【0033】図4から分かるように、1ショットの場合には、粒径は照射強度の増大とともに一旦は増大するも

の、470mJ/cm²程度の設定照射強度条件において微結晶化が生じる。これに対して、3ショットの場合には、470mJ/cm²程度の設定照射強度条件においても、部分的に微結晶化領域が残るものの、1ショットの場合とは異なり粒径の飛躍的な増大が認められる。ここで、実照射強度は、エキシマレーザの特に最初の数パルスにおいて設定値に比べ5～10%程度高くなるため、微結晶化の生じるしきい強度は500mJ/cm²程度と見積もることができる。

【0034】以上の結果を図1に示した最大冷却速度と照射強度の関係に当てはめて、500mJ/cm²の条件における微結晶化の生じる冷却速度を見積もると、微結晶化は約1.6x10¹⁰℃/sec以上の冷却速度条件で生じることが分かる。被照射膜がa-Siの場合は、約500mJ/cm²以上の照射強度で微結晶化が生じ、被照射膜がpoly-Siの場合には、その微結晶化が生じる冷却速度の1.6x10¹⁰℃/secを当てはめると、a-Siの場合の500mJ/cm²と比べて約30mJ/cm²大きい530mJ/cm²の照射強度で微結晶化が生じる。

【0035】以上のようなことから、冷却速度を1.6x10¹⁰℃/sec以下に制御することによって、微結晶化、アモルファス化を防ぐことができ、良好な結晶成長過程を得ることが可能になる。

【0036】＜第2の実施形態＞ここでは、照射パルス数を2パルス（第1パルス、第2パルス）とした場合の、微結晶化、アモルファス化を防ぐことができる冷却速度について説明する。

【0037】(1)第2パルスの遅延時間と最大冷却速度および最小冷却速度との関係：第1パルスの照射強度を450mJ/cm²とし、第2パルスの照射強度を150mJ/cm²とし、第2パルスの第1パルスに対する遅延時間をそれぞれ100、200、300nsecとした場合の、温度-時間変化曲線の計算結果を図5～7に示す。図5～7中、実線がシリコン薄膜の温度、破線がシリコン/基板界面から約100nm下部の基板温度、一点鎖線がシリコン/基板界面から約1μm下部の基板温度をそれぞれ示す。ここでは、シリコン層の膜厚を75nmとし、計算に用いた材料条件として非晶質シリコンのものを用い、基板には二酸化シリコンの材料定数を用いている。また、前述の図3に示したような、最も大きな傾きの部分から求められる最大冷却速度及び最も小さな傾きの部分から求められる最小冷却速度と同様に定義付けられる、総エネルギー照射完了後の冷却過程における最大冷却速度および最小冷却速度と、第2パルスの遅延時間との関係を図9に示す。

【0038】図9から分かるように、第2パルス照射後の冷却過程における最大冷却速度は、照射パルス数が1パルスの条件（第2パルス照射のない条件、すなわち第1パルスのみの条件）で照射した場合の冷却過程におけ

る最大冷却速度よりも低減する。また、第2パルス照射後の冷却過程における最小冷却速度は、第2パルスの遅延条件が100~200 nsec程度で最小値をとる。この遅延条件を超えると、最小冷却速度は再び増加することになる。この遅延時間の増大に伴う最小冷却速度の増大は、次のようなことによる。すなわち、遅延時間の増大は、エネルギー伝達時間、すなわち基板に奪われるエネルギー量の増大を招くため、かえって固化過程での冷却速度を大きくすることになり、結果的に、最小冷却速度が増大することになる。

【0039】(2) 第2パルスの照射強度と最大冷却速度との関係：第1パルスの照射強度を450 mJ/cm²とし、第1パルスに対する第2パルスの遅延時間を200 nsecとし、第2パルスの照射強度をそれぞれ100 mJ/cm²、50 mJ/cm²、25 mJ/cm²と変えた場合の、温度-時間変化曲線の計算結果をそれぞれ図10~12に示す。各図10~12において、実線がシリコン薄膜の温度、破線がシリコン/基板界面から約100 nm下部の基板温度、一点鎖線がシリコン/基板界面から約1 μm下部の基板温度をそれぞれ示す。ここでは、シリコン層の膜厚を75 nmとし、計算に用いた材料条件として非晶質シリコンのものを、基板には二酸化シリコンの材料定数を用いている。

【0040】前述の図8に示したような最も大きな傾きの部分から求められる最大冷却速度と同様に定義付けられる、総エネルギー照射完了後の冷却過程における最大冷却速度と、第2パルスの照射強度との関係を図13に示す。

【0041】図13を参照すると、第2パルス照射後の冷却過程における最大冷却速度は、照射パルス数が1パルスの条件(第2パルス照射のない条件、すなわち第1パルスのみの条件)で照射した場合の冷却過程における最大冷却速度よりも低減する。また、図10~12の各曲線の第2パルス照射後の冷却過程における最大冷却速度は、図13に示すようにほぼ一定となっており、これは急速な冷却から次第に緩やかな冷却過程に変化する上述の図5~7の結果とは異なる。

【0042】以上説明した(1)および(2)の関係から分かるように、第2パルス照射後の冷却過程における最大冷却速度は、第1パルスのみで照射する場合に比べて低減する。

【0043】本形態のように照射パルス数が2パルスの場合、第2パルスが照射される前に投入されたエネルギーに基づく冷却過程、すなわち第1パルス照射後の冷却過程は、第2パルスが照射されることにより初期化されるため、第2パルス照射後の冷却過程における冷却速度が結晶化を支配することになる。したがって、第2パルス照射後の冷却過程における冷却速度が低くなるように、第2パルスの遅延時間および照射強度を設定すれば、良好な結晶成長を得られる。

【0044】また、より良好な結晶成長を得るためには、第1および第2パルスは、その全体としてのパルス波形が、発光開始より50 nsec以内に発光強度の最大値に到達し、かつ、発光開始より100 nsec以上の発光時間を有するようにする。そして、第1パルス照射による熔融再結晶化における最大到達温度に達した後で、固化が終了するまでの間に、第1パルスの照射強度よりも小さい第2パルス光が照射されるように設定することが望ましい。

【0045】＜第3の実施形態＞ここでは、正規分布型の発光パルス波形を仮定して説明する。正規分布型の発光パルスを照射した場合の最大冷却速度と凝固点付近の最小冷却速度をプロットしたものを図14に示す。パルス光の照射強度は、パルス幅の増大に伴って完全熔融に至らなくなるといったことが起きないように、600 mJ/cm²としている。この設定により、600 nsec程度までの評価が可能となる。

【0046】図14を参照すると、パルスの半値幅が100 nsec程度では急峻な冷却の様子が見られ、この場合の最大冷却速度は、 1.6×10^{10} °C/secを超え、微結晶化が発生する領域に入る。パルスの半値幅が100 nsecより長くなると、最大冷却速度は小さくなり、凝固点付近の冷却速度と同じ値に近づく。そして、パルスの半値幅が600 nsecになると、冷却速度はさらに 1.0×10^9 °C/sec以下にまで低下する。

【0047】本形態のように正規分布型の発光パルス波形を持つ場合、半値幅を長くすることで、パルス波形の後半部の照射エネルギーによって冷却速度の増大が緩和される。したがって、本形態の場合においても、上述の各形態の場合と同様、最終的に投入された照射エネルギーによりそれ以前の冷却過程が初期化されることから、照射終了後における冷却速度が結晶化を支配する。よって、最終固化過程における最大冷却速度を 1.0×10^9 °C/sec以下に制御することで、良好な結晶化を得ることができる。

【0048】以上説明した第1~3の実施形態から分かるように、シリコンを主成分とする半導体薄膜を光照射エネルギーによる少なくとも一回の熔融固化過程によって結晶化する場合、その最終固化過程における最大冷却速度を 1.6×10^{10} °C/sec以下にすることで良好な結晶成長を得ることができる。

【0049】また、第2の実施形態のように、照射パルス数が2パルスの場合、第2パルス光はその光強度が第1パルス光よりも小さくなるように、第1パルス光の照射による熔融固化過程において半導体薄膜の温度が最高温度に到達した後、その固化が終了するまでの間に第2パルス光を照射するようにすれば、より良好な結晶成長を得ることができる。この場合、第1パルス光および第2パルス光は、発光開始から50 nsec以内に最大発

光強度に達し、かつ、発光時間が100nsec以上であることが望ましい。

【0050】さらに、パルス波形に第1の実施形態で説明したような複数のピークを持たせるようにすれば、より良好な結晶成長を得ることができる。

【0051】＜パルスレーザ照射装置＞図15に、上述したような半導体薄膜の形成方法を適用したパルスレーザ照射装置の一形態を示す。このレーザ照射装置は、発光制御装置2によって駆動パルス波形が制御される2つのパルスレーザ光源1a、1bを備える。各パルスレーザ光源1a、1bは、発光開始から50nsec以内に最大発光強度に達し、かつ、発光時間が100nsec以上のパルス光を射出するように構成されている。パルスレーザ光源1bは、パルス光の光強度がパルスレーザ光源1aよりも小さい。

【0052】パルスレーザ光源1aから供給されるレーザ光はハーフミラー3で分割され、ハーフミラー3で反射された光が空間的な強度の均一化を行うべく設置されるビームホモジナイザ6およびミラー4a、4bの光学素子群によって規定される光路7を通過して被照射体であるガラス基板8上のシリコン薄膜9に到達する。一方のハーフミラー3を透過した光は光センサ5に達する。

【0053】パルスレーザ光源1bから供給されるレーザ光は、ミラー4cで反射されてハーフミラー3へ達し、該ハーフミラー3を透過しレーザ光が、パルスレーザ光源1aから供給されたレーザ光とともに光路7を通過してシリコン薄膜9に達する。光センサ5は、パルスレーザ光源1aから供給されるレーザ光を検知し、その検知信号を発光制御装置2に送出する。発光制御装置2は、光センサ5がパルスレーザ光源1aから供給されたレーザ光を検出した時刻から所定の時間分だけ遅れてパルスレーザ光源1bからのレーザ光の供給を行わせる。具体的には、発光制御装置2は、光センサ5における検知タイミングに基づいて、パルスレーザ光源1aから射出されたパルス光の照射による熔融固化過程においてシリコン薄膜9の温度が最高温度に到達した後、その固化が終了するまでの間に、パルスレーザ光源1bから射出されたパルス光がシリコン薄膜9へ照射されるように制御する。これにより、前述したような半導体薄膜の形成に相当するレーザ光照射を実現できる。

【0054】このレーザ照射装置の場合、照射範囲が小さいため、ガラス基板8が固定されるxyステージ10を移動させることにより、ガラス基板8上の任意の位置にレーザ光を照射することができる。また、xyステージ10の代わりに、上述の光学素子群を移動させることや、光学素子群とステージを組み合わせたことも可能である。また、レーザ照射が真空チャンバ内で真空中あるいは高純度ガス雰囲気下で行われることもある。

【0055】さらに、必要に応じてシリコン薄膜付きガラス基板入りカセット11と基板搬送機構12を設け、

カセット内に収納されているシリコン薄膜付きガラス基板のxyステージ10上への搬送、およびxyステージ10上のガラス基板のカセット11内への収納を基板搬送機構によって機械的に行うこともできる。

【0056】遅延を制御する方法は、上記のほかに、パルスレーザ光源1bから供給されるレーザ光の光路長を変化させる（パルスレーザ光源1aから供給されるレーザ光の光路長よりも長くする）ことで行うことも可能である。

【0057】本形態のような2台の光源を用いた場合は、パルス波形が異なる光源を用いても、パルス波形が類似した光源を用いてもよい。

【0058】また、上述のような2光源を用いるのではなく、1つのレーザ光源から供給されるレーザ光を2つに分割し、一方のレーザ光の光路長を変化させることでも、上述のレーザ照射装置と同様の装置を実現することも可能である。具体的には、第1および第2のパルスに分割されたとすると、第2のパルス光が、第1のパルス光の照射による熔融固化過程において半導体薄膜の温度が最高温度に到達した後、その固化が終了するまでの間に照射されるようにすればよい。この場合、第2のパルス光の光路中に、光強度が第1のパルス光よりも小さくなるようにフィルタを設ける必要がある。

【0059】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、レーザ再結晶化過程におけるアモルファス化あるいは微結晶化を防ぎ、理想的な熱平衡過程により近い熔融再結晶化過程を経て形成された結晶質シリコン薄膜を提供することができる。

【0060】また、軟化点の低いガラス基板上においても、理想的な熱平衡過程により近い熔融再結晶化過程を経て結晶性シリコンを形成することができる。

【0061】さらに、本発明の半導体薄膜の形成方法に基づいて得られた半導体薄膜を有する半導体装置においては、例えば薄膜トランジスタへ応用した場合、オン電流の低下、あるいはオフリーク電流の増大を招くことを防止することができ、動作の安定性に優れたものを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】発光終了後の最大冷却速度と、XeClレーザの照射強度との関係を説明するための図である。

【図2】本発明の第1の実施形態の半導体薄膜の形成方法に使用されるパルス波形を示す図である。

【図3】照射強度450mJ/cm²のパルス光を照射した場合のシリコン膜の温度変化を示す図である。

【図4】レーザ再結晶化膜の構造を走査型電子顕微鏡を用いて観察した図面代用写真で、(a)～(c)は1ショット（照射パルス数が1パルス）の場合、(d)～(f)は3ショット（照射パルス数が3パルス）の場合を示す。

【図5】第1パルスの照射強度を 450 mJ/cm^2 、第2パルスの照射強度を 150 mJ/cm^2 、その遅延時間を 100 nsec とした場合のシリコン膜の温度変化を示す図である。

【図6】第1パルスの照射強度を 450 mJ/cm^2 、第2パルスの照射強度を 150 mJ/cm^2 、その遅延時間を 200 nsec とした場合のシリコン膜の温度変化を示す図である。

【図7】第1パルスの照射強度を 450 mJ/cm^2 、第2パルスの照射強度を 150 mJ/cm^2 、その遅延時間を 300 nsec とした場合のシリコン膜の温度変化を示す図である。

【図8】出発材料を $a\text{-Si}$ とした場合の、レーザ再結晶化プロセスにおける熔融シリコンの結晶化固化の温度変化を示す図である。

【図9】総エネルギー照射完了後の冷却過程における最大冷却速度および最小冷却速度と第2パルスの遅延時間との関係を説明するための図である。

【図10】第1パルスの照射強度を 450 mJ/cm^2 、第2パルスの照射強度をそれぞれ 100 mJ/cm^2 、その遅延時間を 200 nsec とした場合のシリコン膜の温度変化を示す図である。

【図11】第1パルスの照射強度を 450 mJ/cm^2 、第2パルスの照射強度をそれぞれ 50 mJ/cm^2 、その遅延時間を 200 nsec とした場合のシリコン膜の温度変化を示す図である。

【図12】第1パルスの照射強度を 450 mJ/cm^2

m^2 、第2パルスの照射強度をそれぞれ 25 mJ/cm^2 、その遅延時間を 200 nsec とした場合のシリコン膜の温度変化を示す図である。

【図13】総エネルギー照射完了後の冷却過程における最大冷却速度と第2パルスの照射強度との関係を説明するための図である。

【図14】正規分布型の発光パルスを照射した場合の最大冷却速度と凝固点付近の最小冷却速度との関係を示す図である。

【図15】本発明の半導体薄膜の形成方法を適用したパルスレーザ照射装置の一形態を示す構成図である。

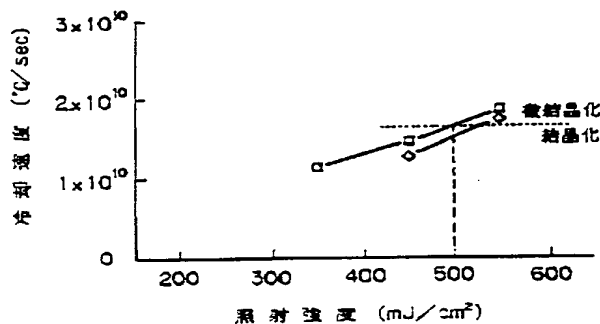
【図16】二次エネルギーを投入した場合のシリコン膜の温度変化を示す図である。

【図17】従来のパルスレーザ照射装置を示す構成図である。

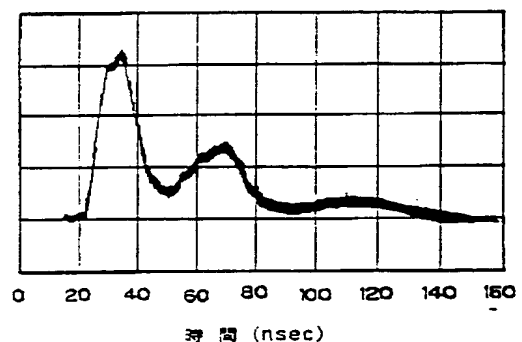
【符号の説明】

- 1 a, 1 b パルスレーザ光源
- 2 発光制御装置
- 3 ハーフミラー
- 4 a, 4 b, 4 c ミラー
- 5 光センサ
- 6 ビームホモジナイザ
- 7 光路
- 8 ガラス基板
- 9 シリコン薄膜
- 10 xyステージ

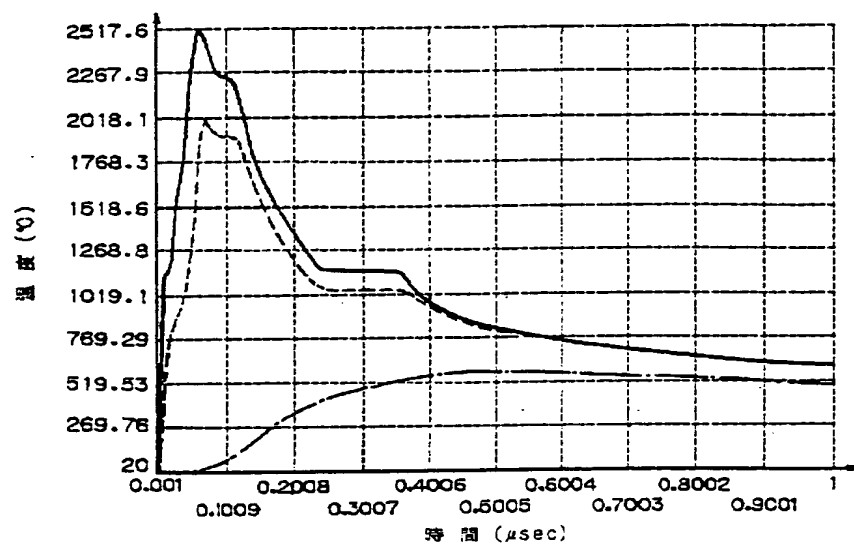
【図1】



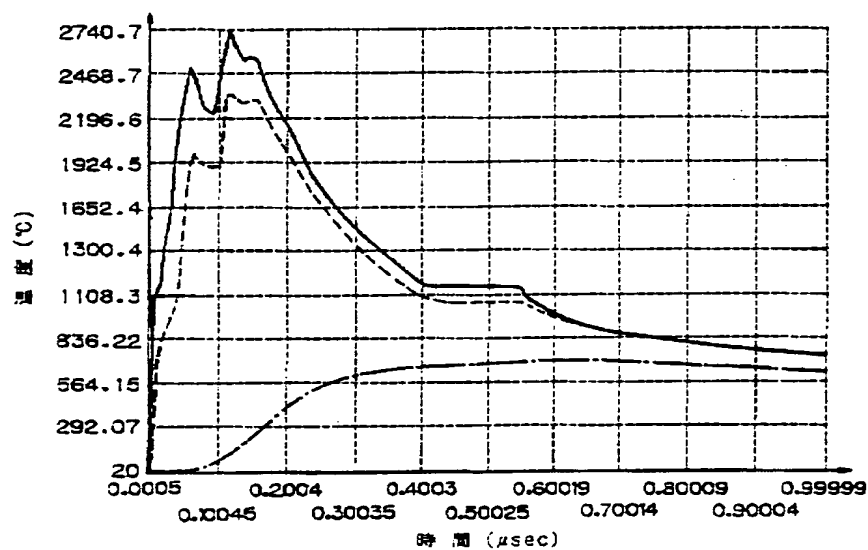
【図2】



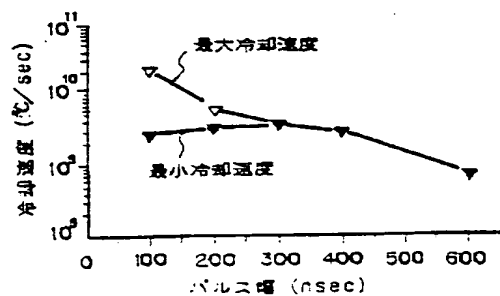
【図3】



【図5】

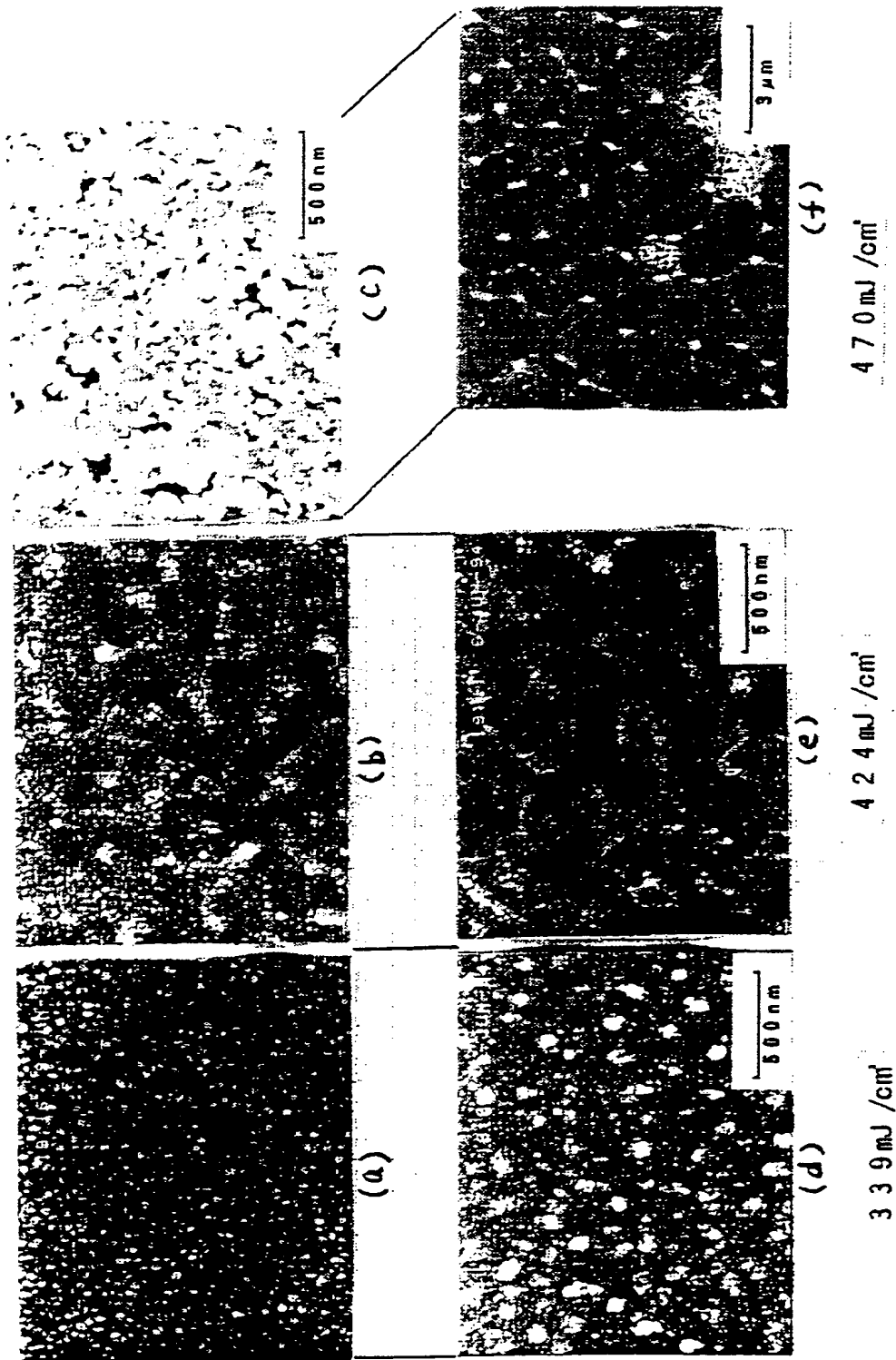


【図14】

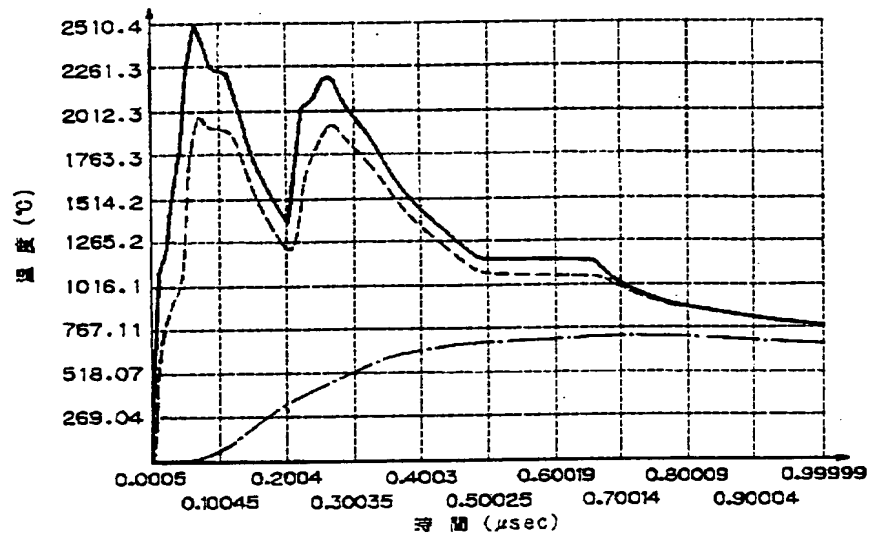


【図4】

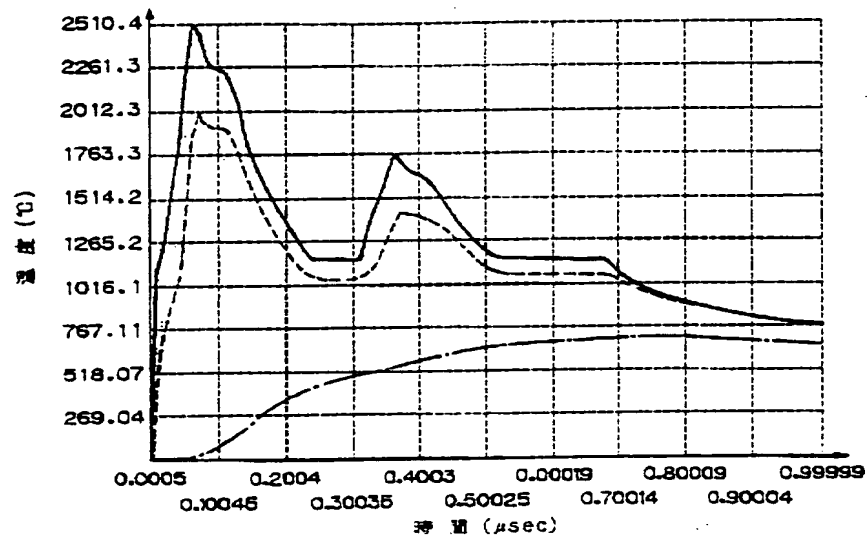
図面代用写真



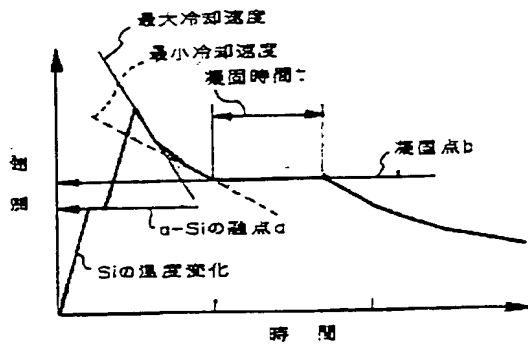
【図6】



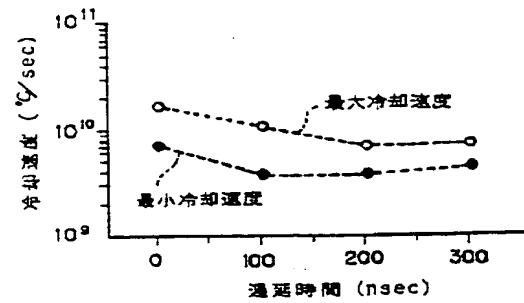
【図7】



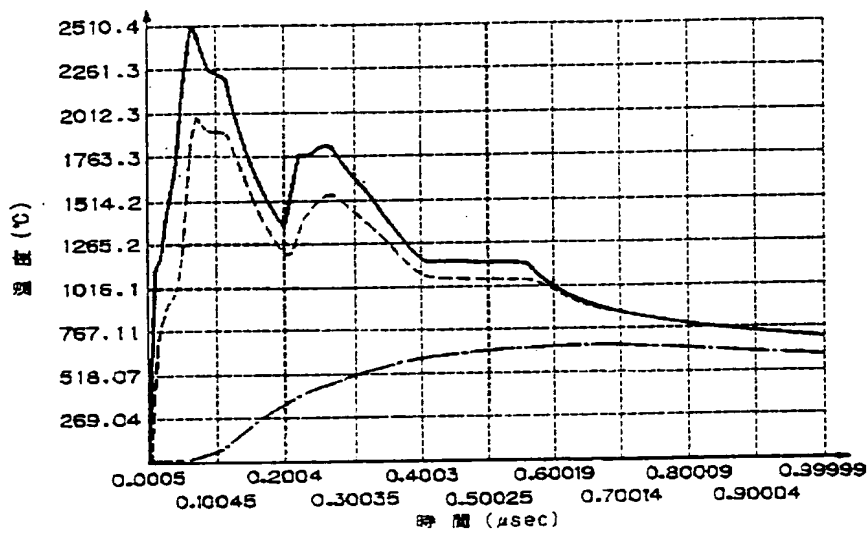
【図8】



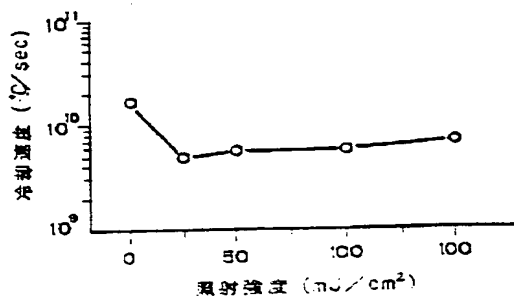
【図9】



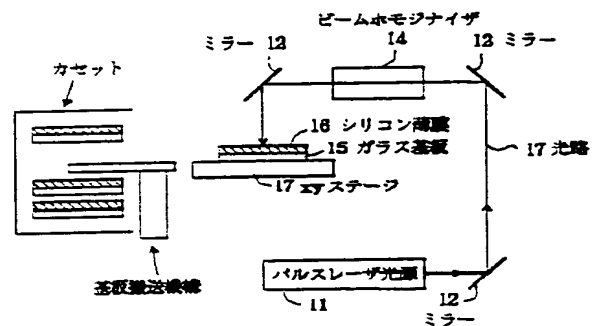
【図10】



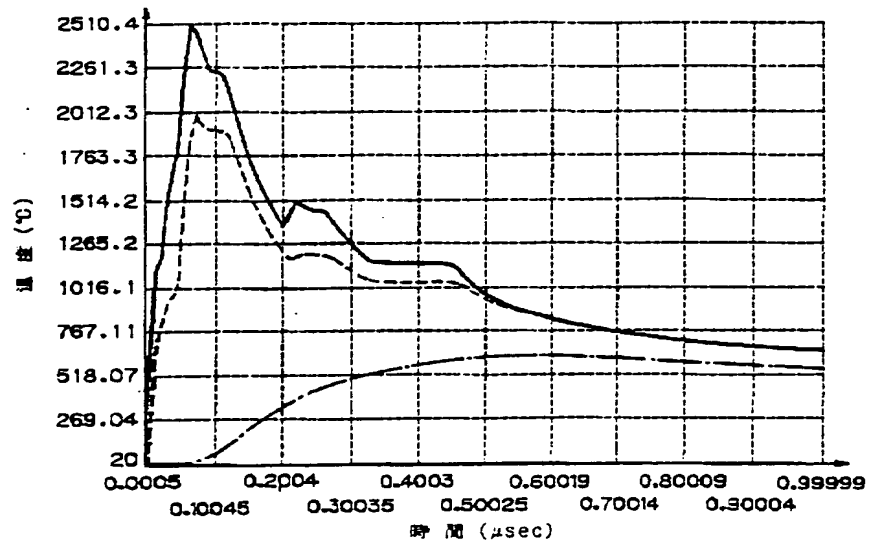
【図13】



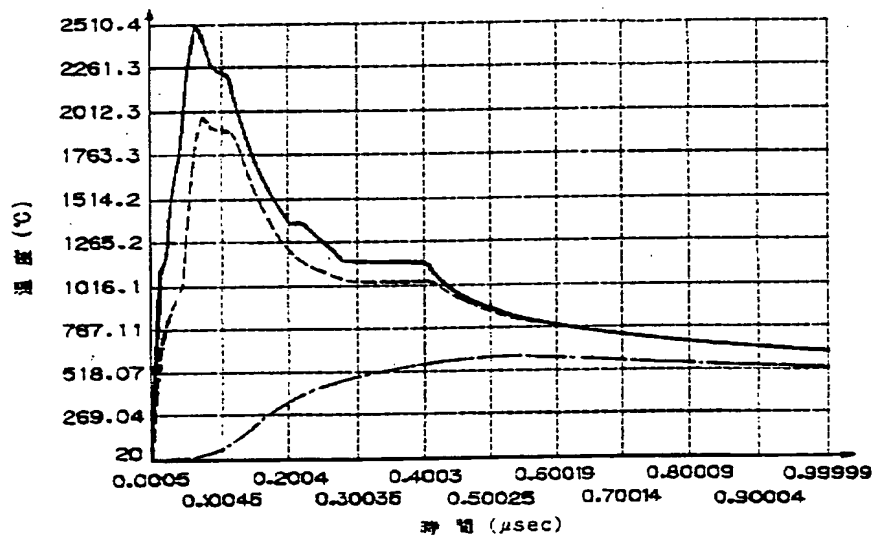
【図17】



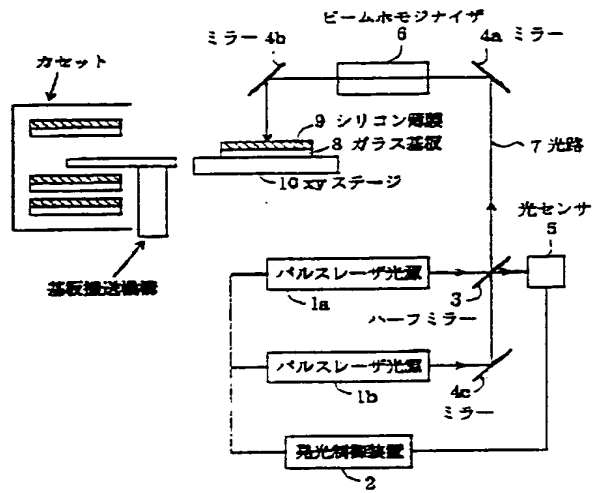
【図11】



【図12】



【図15】



【図16】

